

一、科學原理

繞射 (Diffraction)

繞射是指光波在遇到障礙物或狹縫時，並非只沿直線傳播，而是會在障礙物邊緣產生彎曲並向遮蔽區域擴散的現象。根據惠更斯-菲涅耳原理，光的每一段波前都可視為由無數「次波源」組成，各次波源會向四面八方發出球面波，而整個光場是所有次波的疊加結果。當光通過孔徑或遇到遮擋物時，邊緣處的次波仍會向陰影區傳遞，形成明暗相間的光強分布。繞射的強度和圖樣形狀取決於光的波長與障礙物尺寸的相對比例，孔徑越接近波長尺寸，繞射效果越明顯。

泊松光斑 (Poisson / Arago Spot)

泊松光斑是繞射現象在圓形幾何對稱條件下的特殊結果：當平行光照射到不透明的圓盤時，雖然圓盤會在其後形成幾何陰影，但圓盤邊緣仍會作為次波源向陰影區發射波前，這些波在陰影中心軸線位置的路徑長完全相同，因此相位一致，產生建設性干涉，使陰影中心出現一個明亮的光點，即泊松光斑。這一現象可用菲涅耳繞射積分加以計算，並可由巴比涅原理理解：此實驗結果是光波動模型的重要證據。

建設性與破壞性干涉 (Constructive & Destructive Interference)

干涉描述兩組或多組相干光波相遇時，由於振幅相加而產生增強或抵消的結果。當兩波疊加時，若它們的相位差為整數倍之波長差，振動同向則振幅相加，光強增強，稱為**建設性干涉**；若相位差為半波長差，振動反向則振幅互相抵消，光強減弱或消失，稱為**破壞性干涉**。干涉現象需要光源具有相干性，即頻率相同、相位差穩定。干涉是波動性最直接的證據之一，並在雙縫干涉、薄膜干涉及繞射圖樣中普遍存在。

二、實驗設計與規劃

器材：

650nm 紅光雷射

空間濾波器

幻燈片

平面鏡

三軸移動平台(固定幻燈片)

光圈兩組

光感測計

1. 準備光路：

調整光路使 650 奈米之雷射光發後可經過空間濾波器變成擴束光，並確保光路準直

2. 放置器材：

依序放上幻燈片(使用三軸移動平台作為支架)、平面鏡及兩組光圈和光功率計。將幻燈片放在光路中央，確保雷射光完整照射其表面；平面鏡用來增加光程，增加光的行進路線可使後續實驗方便進行；兩個光圈的用途不同，第一個光圈用來調整三軸移動平台，使光通過幻燈片後之成像可打在光圈中心，第二個光圈用來遮擋除中心亮斑外的其餘光線，以方便測量泊松光斑的中心亮度。(空間濾波器之針孔至幻燈片距離為 32.1 公分；空間濾波器之針孔至光功率計之總距離為 124.8 公分)

3. 投影觀察：

幻燈片上是不同大小的黑色圓點，固定距離後，測量不同大小之遮擋物所繞射出的泊松光斑光強度，目前遮擋物大小從 0.15mm 到 1.5mm，第二個光圈大小固定(第一個光圈只用來定位成像位置，在測量時會將光圈全開)，只測量繞射中心的強度。

4. 收集數據

在第二個光圈後放置光功率計，使成像之中心亮斑可成功進入光功率計，紀錄原始之環境光數據及光斑的亮度數據，兩者差則為光斑最真實的亮度，紀錄並作圖。

三、實驗結果與分析

我們的泊松光斑繞射實驗數據，清晰地展現了光的繞射特性，對經典光學理論提供了有力的佐證。從總體趨勢來看，我們觀察到中心光強度隨著不透明遮擋物直徑的增大而穩定下降，這符合泊松光斑強度的普遍物理規律，當遮擋物尺寸越小，它遮擋的總光能越少，繞射到中心點的光能比例相對較高，因此中心點較亮，繞射光斑的整體能量會逐漸衰減。然而，數據中在水平軸 0.7mm 和 1.0mm 附近出現的兩次明顯強度回升（相對極大值），我們猜測這些週期性的振盪，是菲涅耳半區理論的體現：當圓形遮擋物的邊緣半徑恰好遮擋住整數個 ($m=8$ 及 $m=16$) 菲涅耳半區時，遮擋物邊緣處的繞射光在偵測中心點會產生建設性干涉，從而導致光強度出現突增的極大值，驗證了我們在實驗參數下所計算出的理論極值位置。

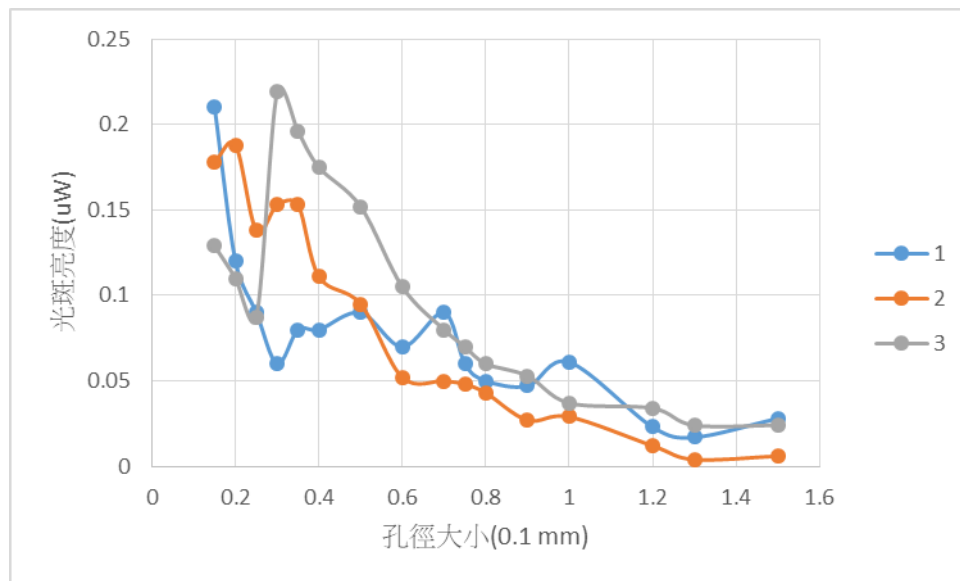
實驗數據:

表一、第一組測量數據			
孔徑大小 (mm)	環境光數值 (μW)	測量值 (μW)	光斑數值 (兩者差值)
0.15	3.03	3.24	0.210
0.20	2.98	3.10	0.120
0.25	2.72	2.81	0.090
0.30	3.20	3.26	0.060
0.35	3.15	3.23	0.080
0.40	3.05	3.13	0.080
0.50	3.04	3.13	0.090
0.60	3.19	3.26	0.070
0.70	3.31	3.40	0.090
0.75	3.45	3.51	0.060
0.80	3.47	3.52	0.050
0.90	3.60	3.65	0.047
1.00	3.64	3.70	0.061
1.20	3.37	3.39	0.023
1.30	3.38	3.40	0.017
1.50	3.28	3.31	0.028

表二、第二組測量數據			
孔徑大小 (mm)	環境光數值 (μW)	測量值 (μW)	光斑數值 (兩者差值)
0.15	3.320	3.498	0.178
0.20	3.214	3.402	0.188
0.25	3.342	3.480	0.138
0.30	3.352	3.505	0.153
0.35	3.218	3.371	0.153
0.40	3.146	3.257	0.111
0.50	3.000	3.095	0.095
0.60	2.814	2.866	0.052
0.70	2.338	2.388	0.050
0.75	2.352	2.400	0.048
0.80	2.337	2.380	0.043
0.90	2.377	2.404	0.027
1.00	2.368	2.397	0.029

1.20	2.373	2.385	0.012
1.30	2.332	2.336	0.004
1.50	2.250	2.256	0.006

表三、第三組測量數據			
孔徑大小 (mm)	環境光數值 (μW)	測量值 (μW)	光斑數值 (兩者差值)
0.15	2.025	2.135	0.110
0.20	1.893	1.980	0.087
0.25	1.852	2.071	0.219
0.30	1.817	2.013	0.196
0.35	1.865	2.040	0.175
0.40	1.880	2.032	0.152
0.50	1.878	1.983	0.105
0.60	1.878	1.958	0.080
0.70	1.891	1.961	0.070
0.75	1.902	1.962	0.060
0.80	1.938	1.991	0.053
0.90	1.990	2.027	0.037
1.00	2.033	2.067	0.034
1.20	2.062	2.086	0.024
1.30	2.097	2.121	0.024
1.50	2.155	2.178	0.023



圖一、三組數據孔徑大小與光強度關係圖

四、誤差來源與不確定度估計

在泊松光斑的定量測量中，誤差主要來自儀器測量限制、實驗設置的對準精度以及光源的非理想性。我們將誤差分為系統誤差和隨機誤差進行分析。

遮擋物直徑（D）的讀取是主要的系統誤差源，幻燈片上圓點邊緣的微小不圓整度會影響繞射邊緣次波源的同步性，這對於必須精確匹配整數個菲涅耳半區的高階極大值尤其關鍵，是導致實驗強度偏離理論峰值的核心原因。此外，距離測量的不確定度雖相對誤差小，但會直接影響極值條件的理論計算值：

$$r^2 \propto \frac{\lambda ab}{a+b}$$

在光強測量方面，光功率計本身的校準誤差和解析度屬於系統誤差，且測量環境光和總光強時進行的減法運算，會累積不確定度。

圖一中顯示三次實驗數據曲線的絕對強度存在差異，主要歸因於隨機誤差。其中，將光功率計前的第二個光圈精確對準泊松光斑的中心亮點是最大的挑戰，微小的對準偏離會導致探測器讀取到的光強迅速衰減，是三次數據曲線無法完全重合的主因。其次，雷射光束在經過空間濾波器後的擴束球面波可能存在輕微的中心漂移或強度波動，使得不同次測量中進入光功率計的總能量有所不同。儘管我們努力排除了環境光，但光功率計對雜散光的敏感性仍可能引入無法避免的隨機波動。

5. 結論

本實驗透過系統性地改變圓形遮擋物的直徑，定量測量了菲涅耳繞射中心（泊松光斑）的相對光強度，成功地驗證了光的波動性及菲涅耳繞射理論。我們的數據圖表呈現出兩個關鍵特徵：首先，光強度隨遮擋物直徑的增大而整體衰減，這符合能量被遮擋的總體物理規律；其次，數據在 0.7mm 和 1.0mm 附近出現了兩次顯著的回升（相對極大值），對應了理論預測的整數個菲涅耳半區（ $m=8$ 及 $m=16$ ）產生建設性干涉的條件。這證明我們的實驗裝置具有足夠的穩定性來捕捉高階的干涉現象，並將經典的光學理論與量化的實驗數據成功連結。本實驗裝置是展示光的波動性和菲涅耳繞射的良好物理教學工具，其價值在於從定性觀察（亮斑）提升到定量分析（強度曲線的振盪週期）。

可能的改進方向：

1. 優化對準機制：將第二個光圈替換為帶有 CCD 影像感測器或高精度 XY 軸移動探頭的光學系統，以確保光功率計始終能精確定位並讀取泊松光斑的絕對峰值強度，從而減少隨機誤差，提高三次實驗數據的一致性。

2. 量化光源特性：測量並報告空間濾波器輸出光束的高斯光束參數（如光束腰），以便在理論分析中納入光源的非理想性，使計算出的理論曲線與實驗數據的整體衰減趨勢更吻合。
3. 材質影響研究：探討使用不同厚度或邊緣處理的遮擋物（例如，從幻燈片圓點改為金屬球或微小圓盤）對亮斑清晰度和強度的影響，以深化對邊界繞射波的理解。